



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO

Campus Baixada Santista

Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia do Mar

**Diagnóstico dos processos de erosão costeira em um período de 35 anos
(1985 - 2020) em relação à atividade de exploração de petróleo em terra no
Rio Grande do Norte.**

Trabalho de Conclusão de Curso

Lucas da França Ramos

Orientador: Prof. Dr. Emiliano Castro de Oliveira

Santos, 2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO

Campus Baixada Santista

Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia do Mar

**Diagnóstico dos processos de erosão costeira em um período de 35 anos
(1985 - 2020) em relação à atividade de exploração de petróleo em terra no
Rio Grande do Norte**

Trabalho de Conclusão de Curso

Lucas da França Ramos

Orientador: Prof. Dr. Emiliano Castro de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de São Paulo – campus
Baixada Santista (UNIFESP – BS) como parte
das exigências para obtenção de grau de
bacharel em Ciências e Tecnologia do Mar.

Santos, 2021

Ficha catalográfica elaborada por sistema automatizado
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L933d Ramos, Lucas.
Diagnóstico dos processos de erosão costeira em um
período de 35 anos (1985 - 2020) em relação à atividade
de exploração de petróleo em terra no Rio Grande do
Norte.. / Lucas Ramos; Orientador Emiliano Oliveira;
Coorientador . -- Santos, 2021.
26 p. ; 30cm

TCC (Graduação - Bacharelado Interdisciplinar em
Ciências e Tecnologia do Mar) -- Instituto do Mar,
Universidade Federal de São Paulo, 2021.

1. Erosão Costeira. 2. Petróleo. 3. Exploração. 4.
Hidrocarbonetos. I. Oliveira, Emiliano, Orient. II.
Título.

CDD 551.46

SUMÁRIO

Resumo	1
1. Introdução	2
2. Materiais e Métodos	6
3. Resultados	6
4. Discussão	10
5. Considerações Finais	19
6. Referências Bibliográficas	21

DIAGNÓSTICO DOS PROCESSOS DE EROÇÃO COSTEIRA EM UM PERÍODO DE 35 ANOS (1985 – 2020) EM RELAÇÃO À ATIVIDADE DE EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO EM TERRA NO RIO GRANDE DO NORTE

Lucas da França Ramos¹

¹Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

Resumo

A erosão costeira é um problema crescente, tendo em vista a grande quantidade de população que vive perto do litoral, tanto no Brasil quanto no mundo. O processo de erosão costeira nada mais é do que o balanço sedimentar em uma praia, podendo apresentar deficit de sedimento, quando ocorre a erosão, ou superavit, quando a praia recebe mais sedimento do que perde. Cerca de 70% das praias do mundo estão passando, nesse momento, pelo processo de erosão, que pode ter sua intensidade aumentada por ações antrópicas como barragens, exploração salineira, carcinicultura e exploração de petróleo. O litoral do Rio Grande do Norte é um exemplo de praia sobre o efeito de erosão no Brasil, levando em consideração, principalmente, a Bacia petrolífera Potiguar. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo diagnosticar o processo de erosão costeira no Rio Grande do Norte num período de 35 anos, levando em consideração a atividade de extração de petróleo que ocorre no local. Esse diagnóstico foi realizado via análise de imagens no software Google Earth Pro®. Tal iniciativa visou, também, construir uma base de dados detalhada sobre a vulnerabilidade da erosão e suas reais consequências, além de eventualmente colaborar com o planejamento de estratégias de mitigação e o eventual posicionamento de novos poços. Foi possível, então, observar as alterações nas linhas das costas das duas áreas selecionadas e foi apontado o balanço sedimentar de cada região nos anos determinados. Com a análise das imagens se chegou na conclusão de acentuada erosão na área 1 (Macau) e uma erosão menos acentuada na área 2 (Areia Branca).

Palavras chaves: erosão costeira, petróleo, exploração, hidrocarbonetos

Santos

2021

1. Introdução

Zonas costeiras sempre foram atrativas para os humanos devido ao seu grande número de recursos, especialmente seu fornecimento de recursos de subsistência, uma vez que oferecem diversos benefícios para as atividades humanas, como o comércio e transporte marítimo, atividades recreativas e culturais, agricultura, pesca, turismo e pela ligação entre ambientes marinhos e continentais (Neumann et al., 2015). Assim sendo, a zona costeira é um ambiente de alta complexidade dinâmica e importante para contextos ambientais, socioeconômicos e culturais.

A densidade populacional se mostra significativamente maior nas costas do que nas áreas não costais e existe uma tendência contínua para a migração costeira, que está associada a mudanças demográficas globais (Hugo, 2011). Com o passar do tempo, o desenvolvimento da ocupação nas zonas costeiras continuou crescendo e não levou em consideração o manejo e a preservação dos recursos disponíveis e esse uso inadequado resultou tanto em mudanças na morfologia das praias e no balanço de sedimentos, quanto em degradação ambiental (de Andrade et al., 2019).

O desenvolvimento e a utilização das zonas costeiras têm aumentado muito durante as décadas recentes e as costas estão passando por uma enorme mudança socioeconômica e ambiental (Ahmed et al., 2021). Devido à alta concentração humana ao longo das costas, esse ecossistema é, conseqüentemente, um dos que foram mais alterados. De 1950 até 2015, o número de cidades litorâneas cresceu de 472 para 2129 (Stronkhorst et al., 2018).

De acordo com Creel, (2003), quase metade da população global, 3 bilhões de pessoas, vivem em um raio de 200km da costa e esse dado pode dobrar até 2025. No Brasil, de acordo com o IBGE (2011), 26,6% da população moram em municípios da zona costeira, o equivalente a 50,7 milhões de habitantes, no qual parte dessa população está ocupada em atividades, direta ou indiretamente, ligadas ao turismo, produção de petróleo e gás natural, pesca e serviços que atendem à dinâmica econômica gerada por esses municípios e outros próximos.

A mudança de morfologia da praia depende de uma série de processos e

fatores como a disponibilidade de sedimentos, a energia das ondas, as interações entre os sedimentos terrestres e marítimos, o aumento do nível do mar, a configuração geológica da zona costeira e as intervenções humanas (Alexandrakis and Poulos, 2014; de Andrade et al., 2019). A hidrodinâmica que modela os sistemas costeiros gera um fluxo contínuo de sedimentos que muda em relação ao tempo e a intensidade (de Andrade et al., 2019). A variação entre os sedimentos que entram e os que saem é chamado de balanço sedimentar (Rosati, 2005). Quando o balanço sedimentar é positivo, a praia recebe mais sedimento do que perde. Quando o balanço sedimentar é negativo, a praia perde mais sedimento do que recebe, causando a erosão costeira. Ou seja, é o balanço sedimentar que determina se na região está ocorrendo erosão, acreção ou estabilidade.

A erosão costeira é um problema sério das comunidades costeiras ao redor do mundo e pode afetar a vida humana, o cultivo, a biodiversidade, fontes de recursos naturais e outros setores econômicos em grande escala (Ahmed et al., 2021). Foi estimado que quase 30% das residências há 200 metros ao longo da costa podem ser severamente afetadas pela erosão nos próximos 50 anos (Rangel-Buitrago et al., 2018). A erosão costeira tem causas naturais e antropogênicas e estima-se que mais de 70% da costa global está atualmente em processo de erosão (Rangel-Buitrago et al., 2018). Algumas das causas naturais da erosão são processos hidrodinâmicos como as ondas, correntes na zona de arrebentação, marés e ventos, com intervalos de tempo variáveis (Souto, 2004), que são processos responsáveis pelas mudanças contínuas na linha de costa.

Existem algumas ações antrópicas que possivelmente contribuem para o aumento do processo erosivo como barragens em rios que deságuam na costa, exploração de sal, criação de camarões em viveiros e exploração de petróleo (Nascimento, 2009). Um dos principais focos de erosão costeira da costa brasileira fica no estado do Rio Grande do Norte, uma vez que apresenta uma taxa maior de erosão do que em áreas adjacentes (Vital e Guedes, 2006). Nesse estado está presente a Bacia Potiguar (Fig. 1), que se estende pelos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará, e é um importante polo de exploração de hidrocarbonetos em terra (Fig. 2), contendo diversos poços de produção posicionados na interface costa-mar. Por ser um local que possui diversos pontos de exploração de petróleo, ele está, portanto, sujeito a processos de erosão costeira.

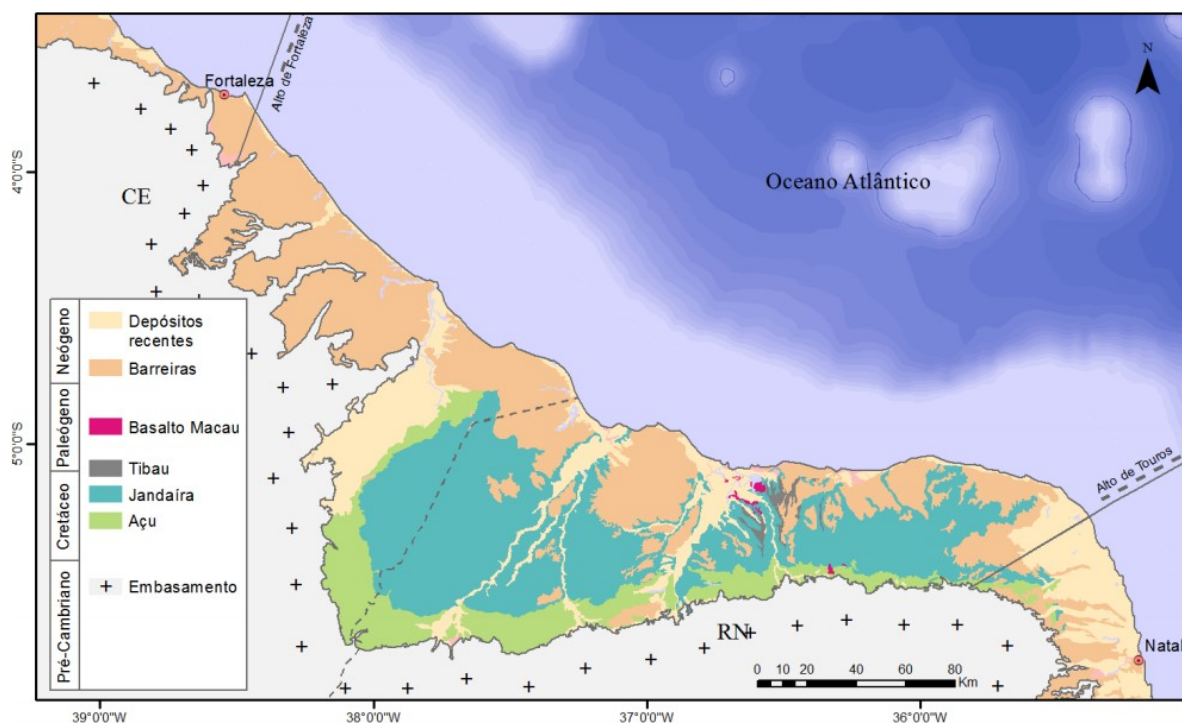


Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Potiguar. Retirado de: http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round14/Mapas/sumarios/Sumario_Geologico_R14_Potiguar.pdf

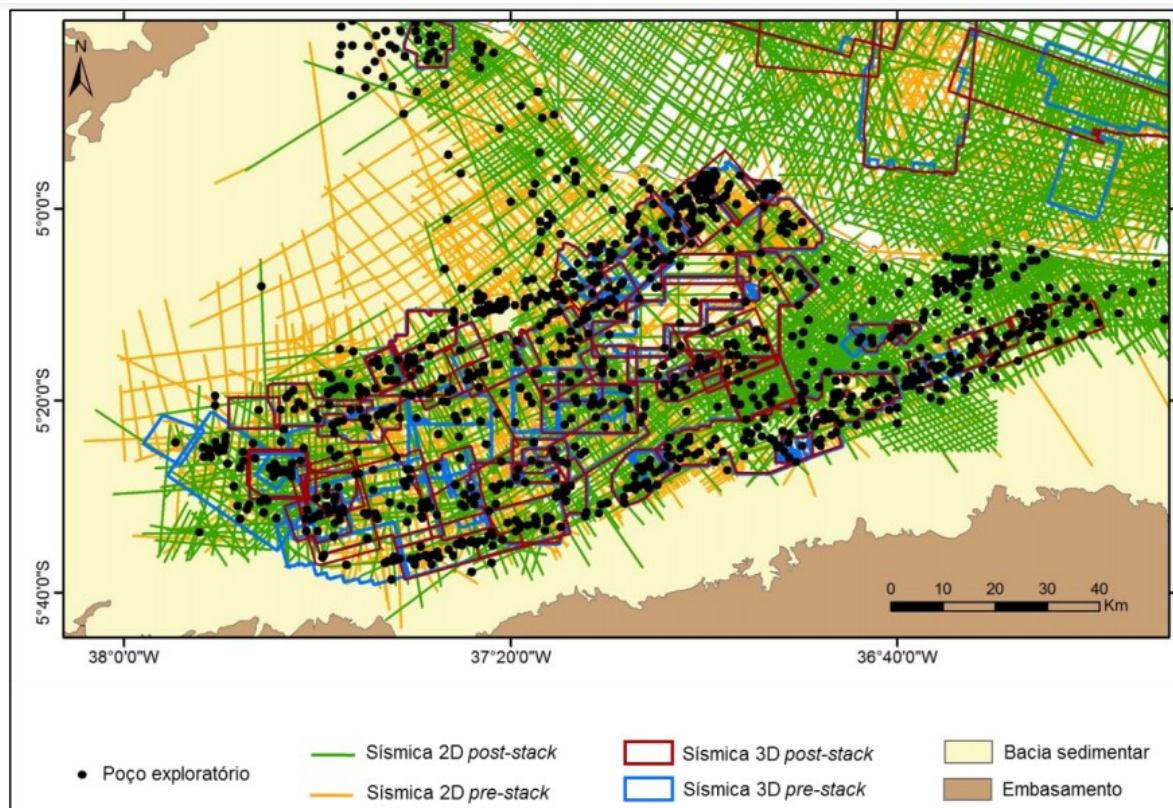


Figura 2 - Mapa de localização da Bacia Potiguar, que mostra a distribuição dos dados sísmicos em 2D e em 3D e dos poços exploratórios. Retirado de: http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round14/Mapas/sumarios/Sumario_Geologico_R14_Potiguar.pdf

Portanto, uma avaliação integrada da vulnerabilidade da erosão costeira na Bacia Potiguar se torna essencial para produzir informações detalhadas e precisas sobre a vulnerabilidade da erosão, apoiar as estratégias de mitigação e, eventualmente, colaborar com o planejamento de posicionamento de novos poços de produção de hidrocarbonetos. Para esse estudo, foram escolhidas duas áreas no estado do Rio Grande do Norte, dentro da Bacia Potiguar (Fig. 3) que seriam interessantes para a análise, devido ao alto número de poços de exploração de petróleo perto da linha da costa (Fig. 4).



Figura 3 - Delimitação das áreas 1 e 2 de estudo. Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

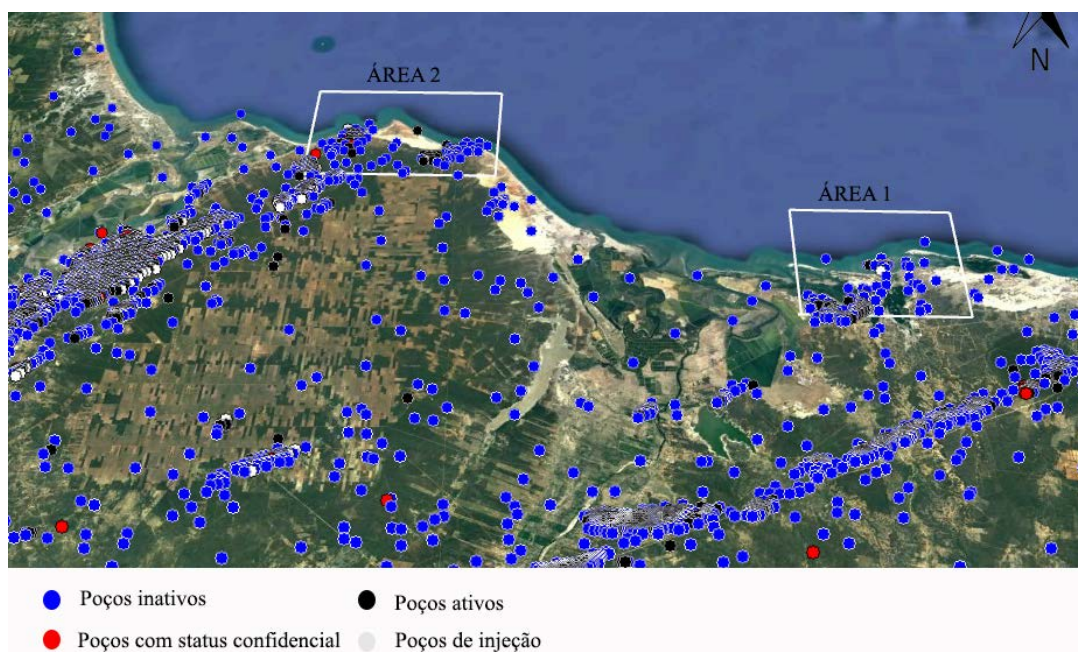


Figura 4 - Poços de exploração de petróleo nas áreas delimitadas de estudo. Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

Esse trabalho teve o objetivo de realizar o diagnóstico dos processos de erosão costeira em um período de 35 anos, de 1985 a 2020, em relação à atividade de exploração de petróleo em terra no Rio Grande do Norte em duas áreas selecionadas, a partir da análise de série histórica de imagens de satélite disponíveis no software Google Earth Pro®.

2. Materiais e métodos

As metodologias empregadas para o cumprimento do objetivo descrito foram:

a. Referências Bibliográficas

Para o início da compilação bibliográfica foram selecionadas fontes apropriadas para que fosse possível ocorrer a análise proposta. A seleção dessas fontes foi considerada temática, da qual abordou assuntos como erosão costeira e conhecimentos gerais sobre as zonas costeiras, além de levantamentos de dados sobre a exploração de petróleo com relação a erosão costeira.

b. Preparação e análise de Dados

Nessa etapa foram delimitadas duas áreas de estudo e foi realizada uma série histórica de imagens de satélite no software Google Earth Pro®, contendo o posicionamento dos poços de produção de hidrocarbonetos e o processo de modificação costeira na região, de cada região, em confronto com as imagens de satélite dos últimos 35 anos, sendo analisadas imagens de 5 em 5 anos, compondo um total de 8 imagens que cobrem o espaço temporal citados. Foi feita, também, em cada área, a demarcação da linha costeira a cada 5 anos com linhas coloridas, para posterior análise.

3. Resultados

A diminuição do nível sedimentar, que leva a uma perda de terras costeiras, pode ser explicada usando alguns fatores como o desequilíbrio do balanço sedimentar, atividades humanas e mudanças no nível do mar. Pode-se obter evidências das mudanças costeiras a partir de mapas históricos datados, gráficos, fotografias aéreas e imagens de satélite com a configuração costeira atual.

A vista dos perfis costais podem fornecer informações interessantes sobre as mudanças topográficas das praias, na qual podemos ver abaixo. As imagens foram agrupadas e pode-se notar, com o auxílio das linhas costeais coloridas, modificações nas linhas costeais.

Área 1 – Município de Macau (RN):

O município de Macau teve seu primeiro poço de petróleo perfurado nos anos 80 (Vital et al., 2018) e, desde então, é um local de alta concentração de poços de petróleo, tanto ativos, quanto inativos, que estão localizados, principalmente, na faixa litorânea. A área previamente determinada para o estudo desse trabalho é composta por duas praias dentro do município de Macau, uma chamada Barreiros (RN), que é uma região estuarina e uma ilha barreira, chamada de Ponta do Tubarão. Esse estuário se diferencia dos demais do estado pois possui ilhas barreiras e esporões arenosos, que protegem a faixa de areia das ações de ondas e correntes litorâneas (Souto, 2009).

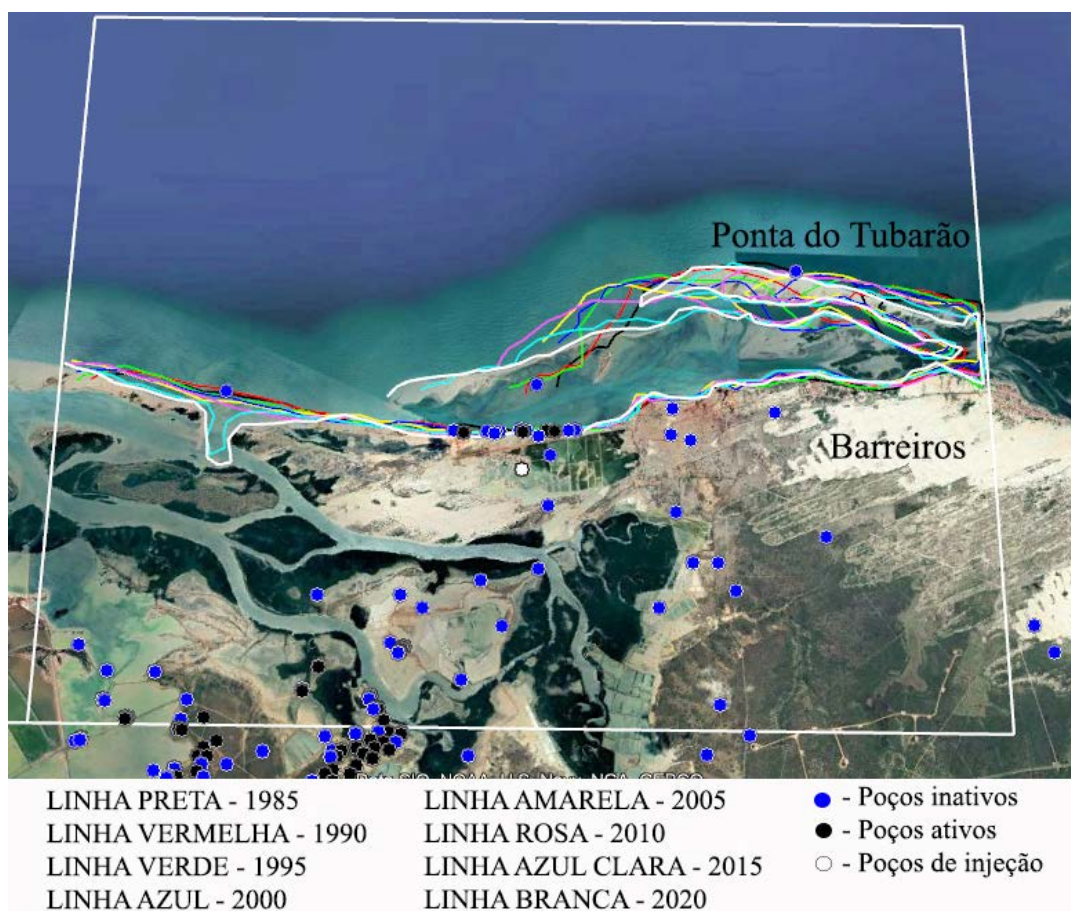


Figura 5 - Mapa da área 1 (Macau) apresentando as linhas costeais de cada ano, desde 1985 até 2020. Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

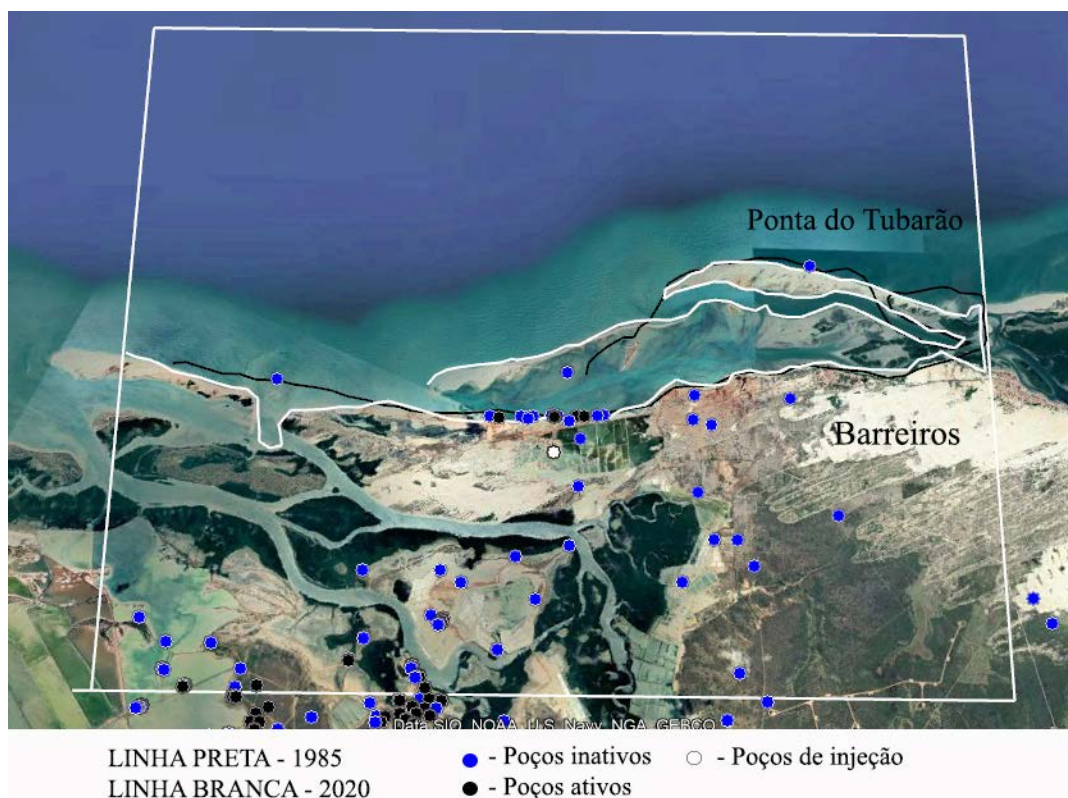


Figura 6 - Mapa da área 1 (Macau) apresentando as linhas de costa de 1985 (preta) e de 2020 (branca). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

Como podemos ver na imagem acima (Fig. 5 e 6), a linha de costa sofreu alterações conforme o passar dos anos, o que significa um processo intenso de erosão costeira. É notável a diferença entre perfil da praia delimitado no ano de 1985 (linha preta) para o perfil de praia delimitado no ano de 2020 (linha branca). Os resultados obtidos com as imagens mostram o impacto ambiental nesta área que pode ser explicado por diversos fatores como a interferência na deposição de sedimentos por causa dos poços localizados muito próximos da linha costeira, a formação geológica costeira e a dinâmica da circulação costeira, que podem ter alterado o balanço sedimentar natural, apresentando deficit de sedimentos.

Área 2 – Município de Areia Branca (RN)

Essa área está inserida na Bacia Potiguar e representa, hoje, uma parcela significativa da produção de petróleo no Brasil. A área de estudo é no município de Areia Branca, mais especificamente nas praias Redonda, Cristovão e Ponta do Mel. Como podemos notar nas figuras abaixo (Fig. 7 e 8), essa região apresenta menos poços na linha de costa do que a área de Macau e também não apresenta a formação

de ilhas barreiras e de esporões arenosos antes da costa.

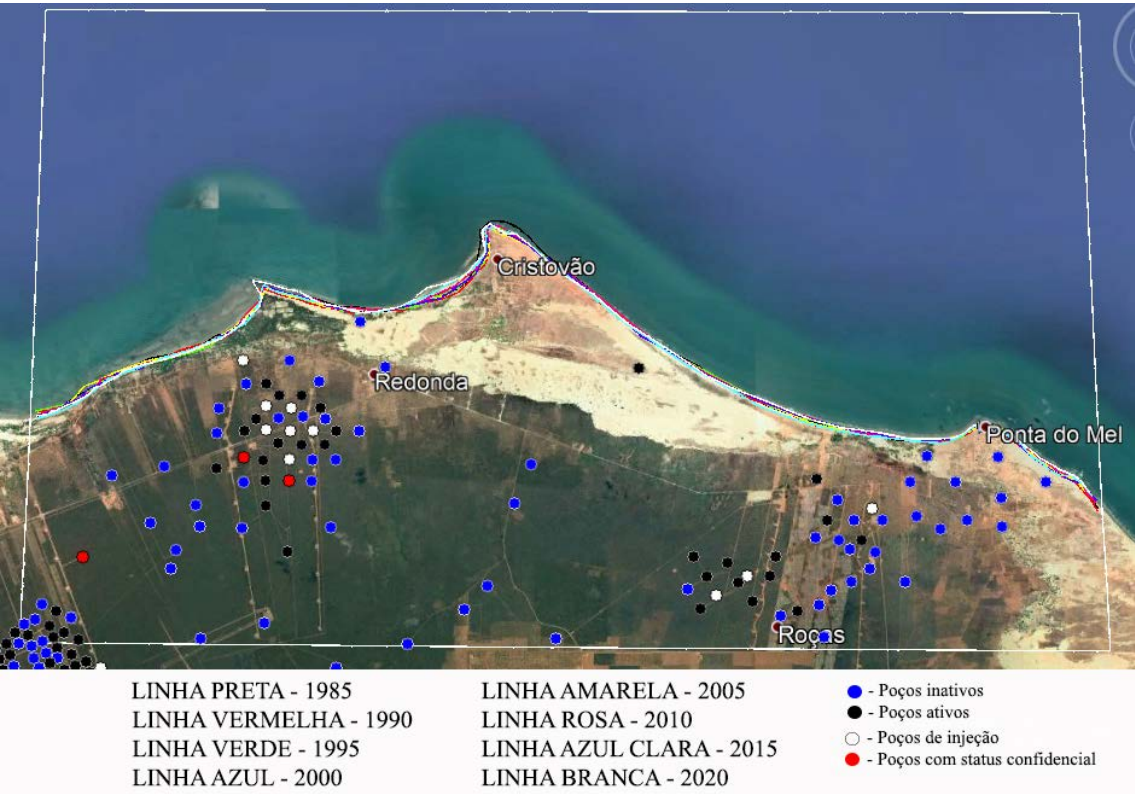


Figura 7 - Mapa da área 2 (Areia Branca), apresentando as linhas costeais de cada ano, desde 1985 até 2020. Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

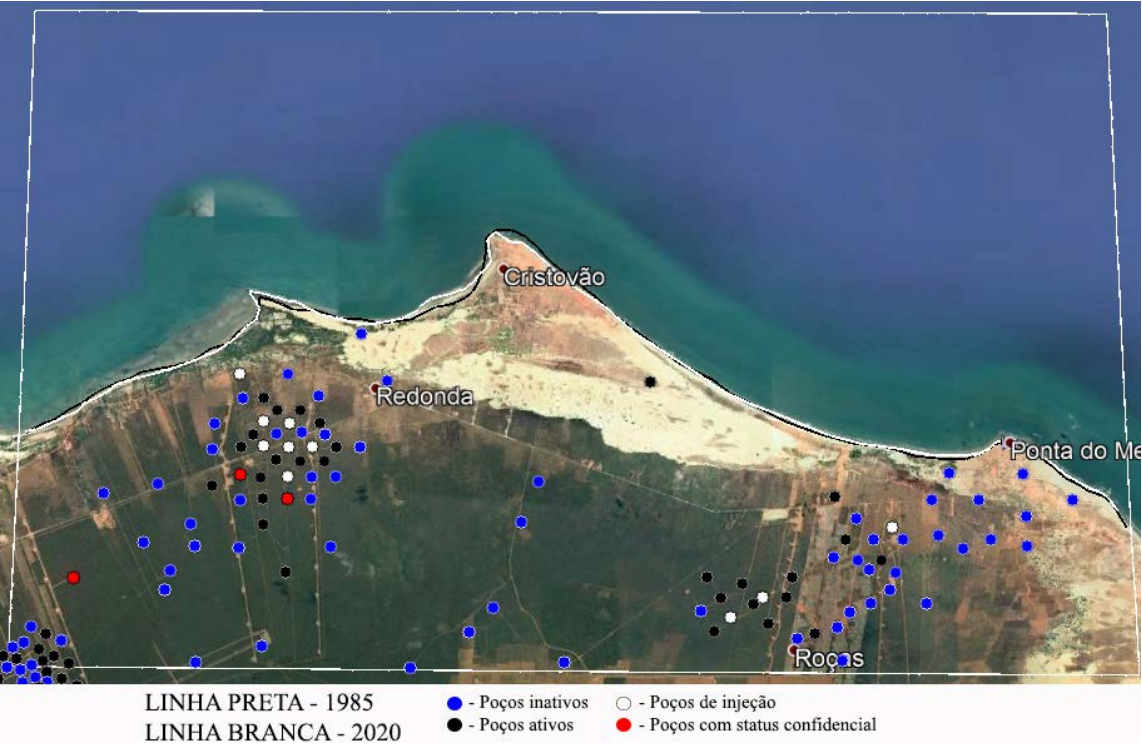


Figura 8 - Mapa da área 2 (Areia Branca) apresentando as linhas de costa de 1985 (preta) e de 2020 (branca). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

Como pode ser visualizado nas imagens acima (Fig. 7 e 8), a praia de Cristovão foi o local que mais sofreu erosão, quando comparados os anos de 1985 (linha preta) e 2020 (linha branca), passando por uma significativa mudança de linha de costa. Já os balanços sedimentares das praias Ponta do Mel e Redonda podem ser considerados positivos, uma vez que a linha branca (2020) ultrapassa o limite da linha preta (1985).

4. Discussão

A evolução e configuração do relevo atual da região sofreu forte influência do tectonismo vertical Meso-Cenozóico (Vital, 2006). Segundo Vital et al., 2018, existem dados históricos e instrumentais que apoiam a teoria de que a Bacia de Potiguar está localizada em uma das áreas sismicamente mais ativas da intraplaca da América do Sul, a sua estrutura de *grabens* e *horsts* é predominante e exerce um papel primordial na morfologia e no depósito de sedimentos na plataforma (Vital, 2006). Muitos estudos (Vital et al., 2001, 2002a,b, 2003a; Tabosa, 2002; Tabosa et al., 2002) mostram que a morfologia de fundo influencia diretamente nos processos erosivos e deposicionais nessa região.

De acordo com Vital, 2006, algumas das principais causas e fatores da erosão costeira observados no Rio Grande do Norte estão principalmente relacionados a dinâmica da circulação costeira, evolução holocênica da planície costeira, suprimento sedimentar ineficiente, construção de estruturas de concreto perpendiculares a linha de costa na zona de praia e fatores tectônicos.

Em relação a dinâmica da circulação costeira, a principal influência é a presença de linhas de rochas praias e paralelas a costa, chamadas de *beachrocks*, que se comportam como barragens que modificam o padrão de arrebentação das ondas e, por modificarem e dissiparem as energias das ondas, geram enseadas, com deposição de sedimento nas áreas com rocha e erosão acentuada nas áreas de interrupção das mesmas (Vital, 2006; Vital, 2018). Além disso, a formação de campos dunares e esporões arenosos na região também causam um balanço negativo de sedimento, por causa da perda de sedimento para o continente.

Os fatores tectônicos na região também geram zonas de acentuada erosão na costa, principalmente por causa da estrutura tipo *graben* e *horst* (Vital, 2006),

resultante da intensa movimentação tectônica. A morfologia do fundo influencia diretamente nos processos erosivos e deposicionais desta área, uma vez que os efeitos da refração de ondas são refletidos ao longo da zona de praia, sob a forma de erosão e/ou deposição (Vital, 2006).

Outros fatores que podem influenciar na deposição sedimentar do Estado, de acordo com Vital, 2018, são a destruição de faixas frontais de vegetação de restinga e manguezal, a retrogradação geral da linha de costa nas últimas décadas, a intensa erosão de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que pairam as praias e o desenvolvimento de embaíamentos formados pela presença de correntes de retorno concentradas. Esse estudo indica, ainda, que 60% da linha de costa do Estado do Rio Grande do Norte está sob a ação da erosão ou de processos erosivos.

Souto, em 2004, estudou o processo erosivo da região de Macau (nossa região 1 de estudo, Fig. 5) no período entre 1988 e 2003, com técnicas de geoprocessamento, acompanhando as alterações na linha de costa com imagens de satélite, nas áreas de Barreiras e do Campo Macau, e indentificou um processo de erosão contínuo com o decorrer dos anos. Vital, 2018, fez um estudo dessa mesma região, entre os anos 2003 e 2015, e também encontrou um recuo da linha de costa contínuo, na ordem de 50m.

A área 1 de estudo (Macau, Fig. 5) é marcada pela presença (à direita) de rios de pequeno porte, que acabam não contribuindo com superávit sedimentar em quantidades significativas e, além disso, os rios mais expressivos que drenam a região (rio Açu, por exemplo) estão represados, impedindo que os sedimentos consigam atingir o oceano, gerando mais erosão (Vital, 2006). Ademais, na costa dessa área foram instalados, pela PETROBRAS, poços de petróleo, que, quando foram instalados, estavam a mais de 500 metros da distância atual e se encontram agora diretamente na costa (Vital, 2018).

De acordo com Souto, 2004, a PETROBRAS se instalou na região na década de 80, perfurando poços de petróleo ao longo da costa e em 1985 foi instalado um poço na ilha barreira da Ponta do Tubarão, com seu acesso sendo por um píer, que acabou favorecendo o desenvolvimento da ilha barreira pelo aprisionamento dos sedimentos que estavam sendo perdidos nos anos anteriores e condicionou uma série de mudanças nos anos seguintes, por causa da consequente diminuição da

velocidade das correntes marinhas. As estruturas de concreto construídas perpendiculares a linha de costa foram feitas sem o planejamento adequado e sem o monitoramento dos processos físicos costeiros atuantes da área, acentuando o processo erosivo.

Na série de imagens que serão analisadas (Fig. 9 até 16) abaixo poderá se ter uma ideia mais aproximada da evolução da linha de costa nessa área (1) nos últimos 35 anos.

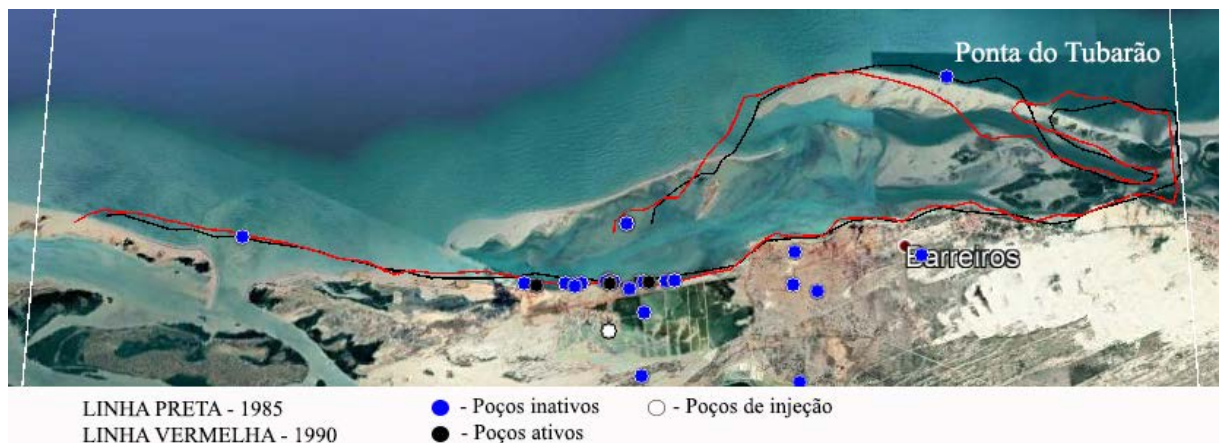


Figura 9 - Mapa da área 1 (Macau) apresentando as linhas de costa de 1985 (linha preta) e de 1990 (linha vermelha). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

Na imagem acima (Fig. 9) podemos perceber que entre os anos 1985 e 1990 a área teve locais com balanço sedimentar positivo, onde a linha vermelha ultrapassa a linha preta, e locais com balanço sedimentar negativo, onde a linha preta ultrapassa a linha vermelha. Pode-se notar que foram nas ilhas barreiras e nos esporões arenosos onde o balanço sedimentar aconteceu em maior intensidade, enquanto a linha de costa não sofreu tantas alterações.

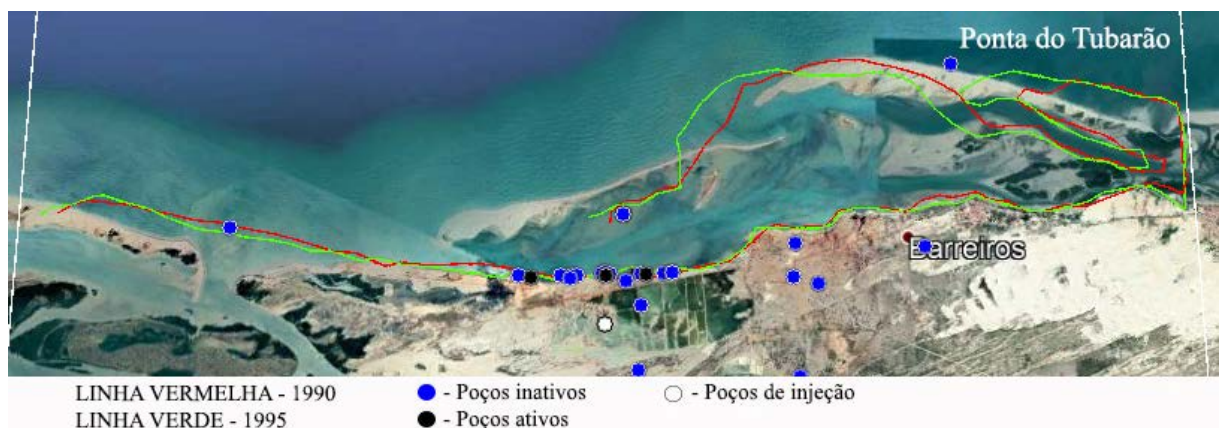


Figura 10 - Mapa da área 1 (Macau) apresentando as linhas de costa de 1990 (linha vermelha) e de 1995 (linha verde). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

Na figura 10 é notável, também, que as variações de sedimento ocorreram com mais intensidade nas ilhas barreiras e esporões arenosos, enquanto na costa a intensidade foi bem menor. No lado esquerdo da imagem podemos ver um balanceamento negativo, apresentando déficit sedimentar, com a linha verde mais recuada quando comparada com a linha vermelha. No lado direito, na costa, podemos perceber que ocorreram mudanças que são pouco perceptíveis, em alguns lugares com déficit e outros com superávit de sedimentos, mas nada muito intenso.

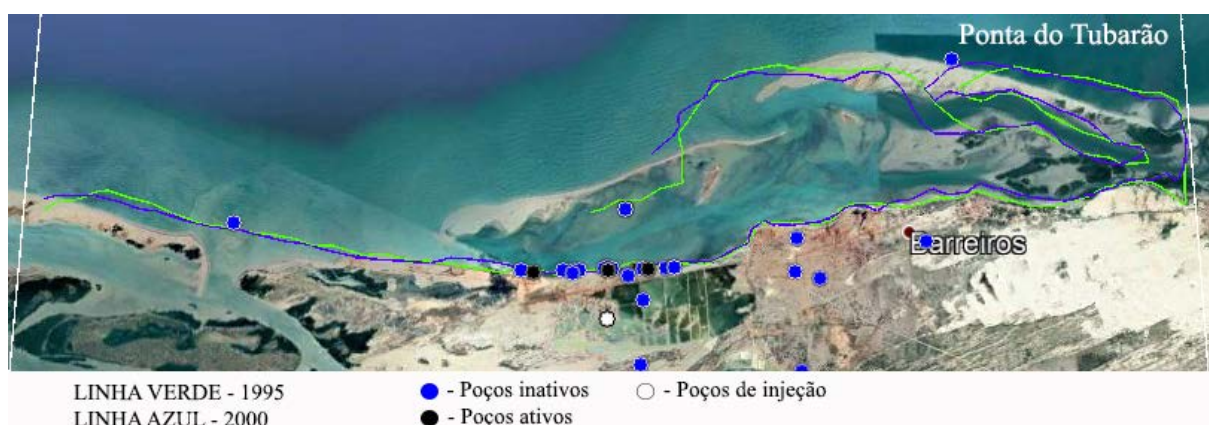


Figura 11 - Mapa da área 1 (Macau) apresentando as linhas de costa de 1995 (linha verde) e de 2000 (linha azul). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

Na imagem acima (Fig. 11) são comparadas as linhas de costa do ano de 1995 e 2000. Podemos perceber novamente uma maior intensidade no balanço sedimentar nos esporões arenosos e ilhas barreiras, porém menor do que na imagem anterior. Em relação a linha de costa, no lado direito temos um superávit de sedimento, com a linha azul ultrapassando a linha verde, enquanto no lado esquerdo podemos ver um déficit de sedimento, com a linha verde passando a azul.



Figura 12 - Mapa da área 1 (Macau) apresentando as linhas de costa de 2000 (linha azul) e de 2005 (linha amarela). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

Na imagem acima (Fig. 12) podemos perceber a maior intensidade de

alteração no balanço sedimentar nas ilhas barreiras, apresentando tanto déficit quando superávit de sedimentos, como se fosse uma modificação espacial. Na costa o balanço sedimentar se mostra balanceado.

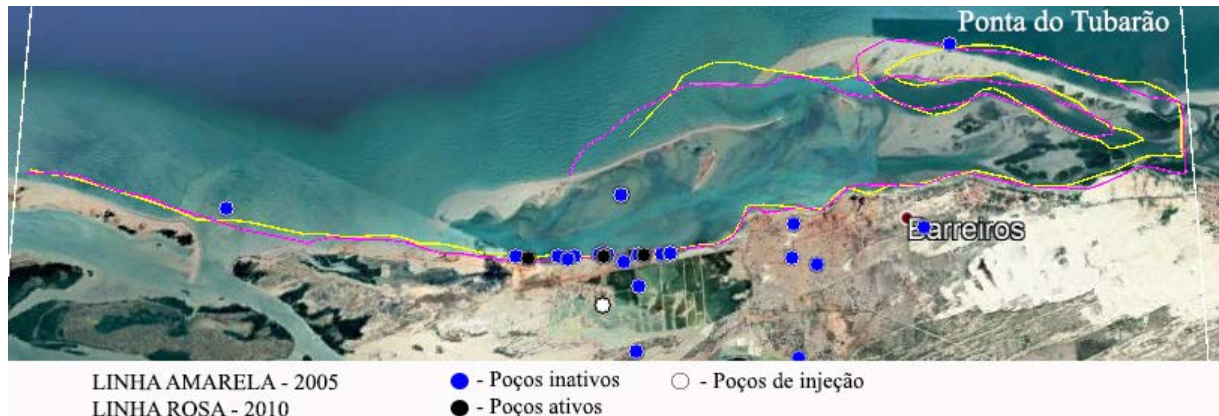


Figura 13 - Mapa da área 1 (Macau) apresentando as linhas de costa de 2005 (linha amarela) e de 2010 (linha rosa). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

Na figura 13 acima é perceptível o déficit de sedimento no lado esquerdo da costa. Já na ilha barreira, é possível ver que os sedimentos se deslocaram para a direita e para baixo.

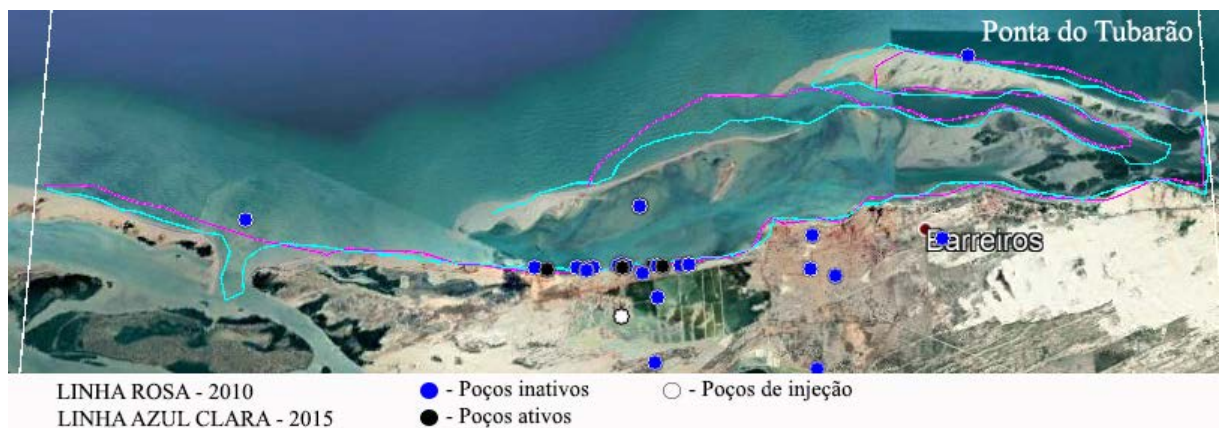


Figura 14 - Mapa da área 1 (Macau) apresentando as linhas de costa de 2010 (linha rosa) e de 2015 (azul clara). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

Na figura 14 podemos perceber uma intensa erosão costeira no lado esquerdo da figura, abrindo uma fenda sem sedimentos. As ilhas barreiras se deslocaram mais para baixo e para a esquerda, enquanto os locais que ficam protegidos por elas quase não sofreram alterações, além de um leve superávit.



Figura 15 - Mapa da área 1 (Macau) apresentando as linhas de costa de 2015 (linha azul clara) e de 2020 (linha branca). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

A diferença sedimentar entre os anos 2015 e 2020 (Fig. 15) é mais notável no lado esquerdo da figura, uma vez que a fenda sem sedimentos aumentou de tamanho. No lado direito ocorreu um déficit de sedimento, enquanto as ilhas barreiras apresentaram tanto déficit quanto superávit de sedimento.



Figura 16 - Mapa da área 1 (Macau) apresentando as linhas de costa de 1985 (linha preta) e de 2020 (linha branca). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

Na imagem acima (Fig. 16) podemos perceber que o déficit de sedimento ocorreu com muito mais intensidade no lado esquerdo da costa, que não apresenta a proteção das ilhas barreiras, levando a um balanço sedimentar negativo e uma maior suscetibilidade aos efeitos erosivos que ocorrem na costa. Já na parte direita da costa, o movimento de sedimentos aconteceu com menor potência, apresentando, até, em alguns lugares, um superávit de sedimentos. Nas ilhas barreiras é possível notar o deslocamento da faixa de areia para a direita.

Já a área 2 de estudo, no município de Areia Branca, por outro lado, não possui ilhas barreiras e não é uma região estuarina. Como é possível perceber na

série de imagens apresentadas abaixo (Fig. 17 a 24), a região não sofreu de um intenso processo de erosão ou de déficit de sedimento.



Figura 17 - Mapa da área 2 (Areia Branca) apresentando as linhas de costa de 1985 (linha preta) e de 1990 (linha vermelha). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.



Figura 18 - Mapa da área 2 (Areia Branca) apresentando as linhas de costa de 1990 (linha vermelha) e de 1995 (linha verde). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.



Figura 19 - Mapa da área 2 (Areia Branca) apresentando as linhas de costa de 1995 (linha verde) e de 2000 (linha azul). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.



Figura 20 - Mapa da área 2 (Areia Branca) apresentando as linhas de costa de 2000 (linha azul) e de 2005 (linha amarela). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.



Figura 21 - Mapa da área 2 (Areia Branca) apresentando as linhas de costa de 2005 (linha amarela) e de 2010 (linha rosa). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.



Figura 22 - Mapa da área 2 (Areia Branca) apresentando as linhas de costa de 2010 (linha rosa) e de 2015 (linha azul clara). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.



Figura 23 - Mapa da área 2 (Areia Branca) apresentando as linhas de costa de 2015 (linha azul clara) e de 2020 (linha branca). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.



Figura 24 - Mapa da área 2 (Areia Branca) apresentando as linhas de costa de 1985 (linha preta) e de 2020 (linha branca). Imagem retirada do Software Google Earth Pro®.

As imagens acima (Fig. 17 a 34) podem nos mostrar que a região da área 2 de estudo não passou por processos tão intensos de erosão ou modificação da linha costeira como ocorreu na área 1. Entre 1985 e 1990 a praia de Cristovão passou por um déficit sedimentar na sua parte mais ao norte (Fig. 17), com a sua área sedimentar permanecendo praticamente constante nas outras imagens (Fig. 18 a 24), de 1990 a 2020. As praias Redonda e Ponta do Mel apresentaram superávit de sedimentos, com um acréscimo gradual de sedimentos na costa, não tendo um ano específico em que o processo ocorreu com mais intensidade.

Os resultados obtidos mostram que a erosão acentuada na Área 1 – Macau (Fig. 16) pode ser explicada por fatores tanto antropogênicos, como construções perto da linha da costa, quanto naturais, como a força da energia das ondas, as ilhas barreiras e a região estuarina com rios apresentando barragens, e essa erosão pode fazer com que cada vez mais poços de exploração de petróleo sejam desativados por causa do recuo da linha costeira, causada pela perda sedimentar. Na figura 16 podemos perceber o quão próximos da linha da costa estão alguns poços ativos. Na Área 2 – Areia Branca (Fig. 24) pode-se perceber que não existe nenhum poço ativo

de exploração de petróleo tão próximo a linha da costa quanto na Área 1 (Fig. 16), além da erosão se mostrar menos intensa nessa região, então não se mostra necessário a desativação de poços nessa área (2).

5. Considerações Finais

A erosão costeira é um problema sério das comunidades costeiras ao redor do mundo e vem se tornando cada vez mais preocupante, uma vez que pode afetar a vida humana, o cultivo, a biodiversidade, as fontes de recursos naturais e outros setores econômicos em grande escala, tanto no Brasil quanto no mundo. O processo de erosão costeira pode ser explicado sendo o balanço sedimentar em uma praia, podendo apresentar deficit de sedimento, quando ocorre a erosão, ou superavit, quando a praia recebe mais sedimento do que perde.

Cerca de 70% das praias do mundo estão passando, nesse momento, pelo processo de erosão, que pode ter sua intensidade aumentada por ações antrópicas como barragens, exploração salineira, carcinicultura e exploração de petróleo. Além dos fatores naturais que também podem intensificar esse processo, como a dinâmica da circulação costeira, suprimento sedimentar ineficiente, fatores tectônicos, presença de *beachrocks* e a destruição de faixas frontais de vegetação de restinga e manguezal.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo diagnosticar o processo de erosão costeira no Rio Grande do Norte num período de 35 anos, levando em consideração a atividade de extração de petróleo que ocorre no local. Esse diagnóstico foi realizado via análise de imagens no software Google Earth Pro® e tal iniciativa visou, também, construir uma base de dados detalhada sobre a vulnerabilidade da erosão e suas reais consequências, além de eventualmente colaborar com o planejamento de estratégias de mitigação e o eventual posicionamento de novos poços.

O litoral do Rio Grande do Norte, como já foi analisado, é um exemplo de costa sobre o efeito de erosão no Brasil, levando em consideração, principalmente, a Bacia petrolífera Potiguar. Nossas duas Áreas de estudo (1 e 2, Fig. 4) apresentam duas realidades bastante distintas, uma vez que enquanto a Área 1 (Macau, Fig. 5) é uma região estuarina, com rios apresentando barragens, e com a presença de *beachrocks* e de poços de exploração de petróleo muito próximos a linha da costa, a Área 2 (Areia Branca, Fig. 7) não é uma região estuarina e não apresenta nem *beachrocks* e nem poços de exploração de petróleo tão próximos da linha da costa.

Com base nas diferenças apresentadas entre as duas Áreas, foi possível notar que a Área 1 de estudo (Macau, Fig. 5) apresentou uma taxa de movimentação sedimentar e erosão muito maior do que a Área 2 de estudo (Areia Branca, Fig. 7), que praticamente não sofreu tantas alterações ao longo dos anos. Isso pode ser explicado devido, além dos fatores naturais como composição da praia, dinâmica de circulação costeira e energia das ondas, a fatores antropogênicos como o posicionamento dos poços de petróleo que, quando combinados com os fatores naturais, podem, sim, agravar a situação das praias já em processo de erosão.

No geral, a metodologia escolhida conseguiu cumprir muito bem com os objetivos propostos de analisar a taxa e a variação de erosão costeira com uma série de imagens de satélite. Além disso, o uso de linhas coloridas para as oito diferentes datas escolhidas (1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020), foi de fundamental importância para o acompanhamento das mudanças da morfologia costeira. O uso do Software Google Earth Pro® permitiu a visualização das mudanças da linha costeira em períodos distintos, possibilitando a posterior comparação e análise das imagens obtidas.

Para um estudo mais completo, se faz necessária a continuidade na análise de imagens destas áreas, e de toda a costa do Rio Grande do Norte, com o objetivo de realizar um panorama mais integrado de monitoramento, levando em consideração todas as vulnerabilidades dessa região costeira. Isso se faz essencial para produzir informações mais detalhadas e precisas sobre a vulnerabilidade da erosão, apoiar as estratégias de mitigação e, eventualmente, colaborar com o planejamento de posicionamento de novos poços de produção de hidrocarbonetos, que não afetem a dinâmica de circulação costeira da região.

6. Referências Bibliográficas

- Ahmed, N., Howlader, N., Hoque, M.A.-A., e Pradhan, B. (2021). Coastal erosion vulnerability assessment along the eastern coast of Bangladesh using geospatial techniques. *Ocean & Coastal Management* 199, 105408.
- Alexandrakis, G., e Poulos, S.E. (2014). An holistic approach to beach erosion vulnerability assessment. *Scientific Reports* 4, 6078.
- de Andrade, T.S., Sousa, P.H.G. de O., and Siegle, E. (2019). Vulnerability to beach erosion based on a coastal processes approach. *Applied Geography* 102, 12–19.
- Creel, L. (2003). RIPPLE EFFECTS: POPULATION AND COASTAL REGIONS. 8.
- Hugo, G. (2011). Future demographic change and its interactions with migration and climate change. *Global Environmental Change* 21, S21–S33.
- IBGE. Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil: Rio de Janeiro. 2011.
- Neumann, B., Vafeidis, A.T., Zimmermann, J., e Nicholls, R.J. (2015). Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. *PLoS ONE* 10, e0118571.
- Portella, A.Y., and Fabianovicz, R. (2017). Bacia Potiguar.
- Rangel-Buitrago, N., Williams, A.T., e Anfuso, G. (2018). Hard protection structures as a principal coastal erosion management strategy along the Caribbean coast of Colombia. A chronicle of pitfalls *Ocean & Coastal Management* 156, 58-75.
- Rosati, J.D. (2005). Concepts in Sediment Budgets. *Journal of Coastal Research* 212, 307–322.
- Souto, M. V. S., (2009). Análise da evolução costeira do litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte, região sob influência da indústria petrolífera. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, tese de mestrado.
- Stronkhorst, J., Levering, A., Hendriksen, G., Rangel-Buitrago, N., e Appelquist, L.R. (2018). Regional coastal erosion assessment based on global open access data: a case study for Colombia. *J Coast Conserv* 22, 787–798.
- Tabosa, W.F.T. Monitoramento Costeira das Praias de São Bento do Norte e Caiçara do Norte - RN. Programa de pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado. 2002. 76p.
- Tabosa, W.F.T, Vital, H.; Amaro, V.E. Morphologic and Structural Characterization of the Rio Grande do Norte State, NE Brazil, based on Remote Sensing Images. Annual Meeting of American Association of Petroleum Geologist. Houston, EUA. 2002. Extended Abstracts CD-ROM.
- Vital, H., e Guedes, I.M.G. (2006). Erosion of areas of oil and gas exploration along the coast of northeastern Brazil: the Guamaré hotspot.

6. Referências Bibliográficas

- Vital, H. 2006. Rio Grande do Norte. Pp. 159-176. In: Muehe, D. (Ed.). Erosão e progradação do litoral brasileiro. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 475 p.
- Mendonça, P.M.M., Sqadini, A.R., e Milani, E. (2003). Exploration at Petrobras: 50 years of success. 12, 9–58.
- Vital, H., Silevira, I., Lima, Z., Tabosa, W., Aquino da Silva, A., Gomes, M., Chaves, M., Souza, F., e Campos, B. (2018). PANORAMA DA EROSÃO COSTEIRA NO BRASIL: Rio Grande do Norte. p. 759.
- Vital, H.; Tabosa, W.F.; Stattegger, K.; Caldas, L.H.O. Tectonics and Bottom Morphology control on Sediment Distribution in the Brazilian NE Continental Margin: São Bento do Norte / Caiçara do Norte Área. Abstracts of the Chapman conference on the Formation of Sedimentary Strata on Continental Margins, American geophysical Union, Ponce-Puerto Rico. 2001. p.37.
- Vital, H.; Amaro, V.; Tabosa, W.F.T.; Guedes, I.M.G.; Stattegger, K.; Caldas, L.H.O. Pattern of sediment distribution in setentrional coast of RN State, NE Brazil. 2002 Ocean Sciences Meeting, American geophysical Union, Honolulu-Hawai and EOS, Transactions, American Geophysical Union, 2002a. V.83, No.4.
- Vital, H.; Amaro, V.E.; Stattegger, K.; Schwarzer, K.; Tabosa, W.F.; Frazão, E.P.; Silveira, I.M.; Caldas, L.H.O. Interactions of seal level and tectonics on large scale bedforms preserved on a tropical shelf: The Rio Grande do Norte Shelf, NE Brazil. Continental Shelves during the last glacial cycle. 2nd Conference. IGCP 464. Sao Paulo. Abstracts. 2002b. P.99-100.
- Vital, H.; Stattegger, K.; Tabosa, W.F.; Riedel, K., Why Does Erosion Occur on the Northeast of Brazil? The Caiçara do Norte beach example. Journal of Coastal Research SI (35) Brazilian Sandy Beaches, 2003a. p. 525-529